

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-243618

(P2000-243618A)

(43) 公開日 平成12年9月8日(2000.9.8)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 F 6/00

識別記号

Z A A

F I

H 0 1 F 7/22

テマコード\*(参考)

Z A A A

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平11-44881

(22) 出願日 平成11年2月23日(1999.2.23)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 尾原 昭徳

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 津田 芳幸

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 下畑 賢司

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100057874

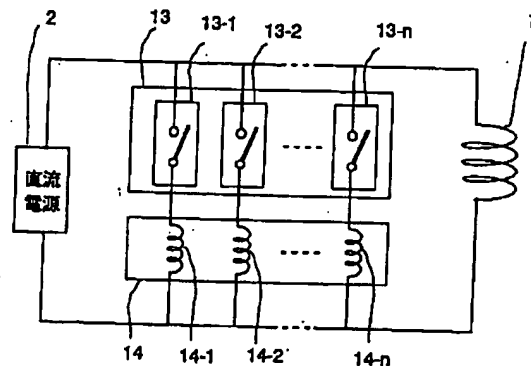
弁理士 曾我 道照 (外6名)

(54) 【発明の名称】 超電導装置

(57) 【要約】

【課題】 並列に接続された複数の機械式永久電流スイッチにおいてはジュール発熱損失が生じず複数の機械式永久電流スイッチに均等に電流が流れる信頼性の高い超電導装置を提供する。

【解決手段】 超電導コイル1と、超電導コイル1に電流を供給する励磁電源2と、機械式永久電流スイッチ(1)・・・(n) 13-1・・・13-nと超電導コイル1より小容量の第2の超電導コイル1)・・・(n) 14-1・・・14-nとを直列に接続し、超電導コイル1に並列接続される複数の直列体とからなる。



1 : 超電導コイル、2 : 励磁電源

13 : 複数の熱式永久電流スイッチ

14 : 複数の小容量の超電導コイル

Rest Available Copy

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の超電導コイルと、この第1の超電導コイルに電流を供給する励磁電源と、複数の機械式永久電流スイッチ及び前記第1の超電導コイルより小容量の複数の第2の超電導コイルをそれぞれ直列に接続して前記第1の超電導コイルに並列接続した複数の直列体とから成ることを特徴とする超電導装置。

【請求項2】 機械式永久電流スイッチの開極動作時に小容量の第2の超電導コイルに残留する電気エネルギーを減衰させるエネルギー減衰回路を前記小容量の第2の超電導コイルに設けたことを特徴とする請求項1に記載の超電導装置。

【請求項3】 エネルギー減衰回路は、小容量の第2の超電導コイルに並列接続されるコンデンサと抵抗の直列体であることを特徴とする請求項2に記載の超電導装置。

【請求項4】 エネルギー減衰回路は、小容量の第2の超電導コイルに並列接続されるダイオードと抵抗の直列体であることを特徴とする請求項2に記載の超電導装置。

【請求項5】 小容量の第2の超電導コイルの通電容量は第1の超電導コイルの通電容量を複数の機械式永久電流スイッチの数で割った数値に近似させたことを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の超電導装置。

【請求項6】 第1の超電導コイルはソレノイド形状でその内側に複数の小容量の第2の超電導コイルをトロイダル配置に設置したことを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の超電導装置。

【請求項7】 第1の超電導コイルはソレノイド形状でその内側に複数の小容量の第2の超電導コイルを同一平面上に点対称形状に配置したことを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の超電導装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、超電導コイルを永久電流モードで運転するために用いられる機械式永久電流スイッチを備えた超電導装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】超電導コイルの大きな特徴の一つは、コイルの電気抵抗が零であるため、ロスが無く、一旦超電導コイルに流れ込んだ電流が永久に流れ続ける永久電流モードにて運転を行えることである。永久電流モードでは、外部電源から切り離された電流が循環して超電導コイルに流れ続けるため、変動のない安定した磁界が得られる。また、電気エネルギーはロスを無くして長時間に渡り超電導コイルに貯蔵することができる。

【0003】従来、大電流の永久電流モード運転を実現させる一般的な方法として、例えば特開平1-102905号公報に示す永久電流スイッチがある。図6はこの従来の永久電流スイッチを用いた超電導装置の構成図で

ある。図において、1は励磁電源2に並列に接続された超電導コイル、3は熱式永久電流スイッチ(1)3-1、熱式永久電流スイッチ(2)3-2・・・熱式永久電流スイッチ(n)3-nより構成される熱式永久電流スイッチ群で、各熱式永久電流スイッチ(1)3-1、熱式永久電流スイッチ(2)3-2・・・熱式永久電流スイッチ(n)3-nには固定抵抗(1)4-1、固定抵抗(2)4-2・・・固定抵抗(n)4-nがそれぞれ直列接続され、そして直列接続されたものが超電導コイル1にそれぞれ並列接続されている。なお、図では省略しているが励磁電源2は電力系統に接続されている。

【0004】次の従来の超電導装置の動作について説明する。図6において、熱式永久電流スイッチ(1)・・・(n)3-1・・・3-n、固定抵抗(1)・・・(n)4-1・・・4-nがそれぞれ直列接続されたうえで超電導コイル1と励磁電源2に並列接続されている。いま超電導コイル1に通電を行う場合、熱式永久電流スイッチ(1)・・・(n)3-1・・・3-nを開極状態とし、励磁電源2の電流を徐々に上昇させる。この時超電導コイル1には励磁電源2から電流が流れる。その後、熱式永久電流スイッチ(1)・・・(n)3-1・・・3-nを閉極し励磁電源2の電流を下げることににより超電導コイル1に流れている電流は熱式永久電流スイッチ(1)・・・(n)3-1・・・3-nを経由する循環電流となり減衰無く流れ続け、大電流の電気エネルギーとして超電導コイル1に蓄えられる。この状態を永久電流モードと称する。

【0005】ここでは、超電導コイル1を永久電流モードに移行する場合には並列に接続された複数の熱式永久電流スイッチ(1)・・・(n)3-1・・・3-nに均等に電流が流れるようにするため熱式永久電流スイッチ(1)・・・(n)3-1・・・3-nにはそれぞれ固定抵抗(1)・・・(n)4-1・・・4-nが直列に接続されている。

【0006】一方、超電導コイル1から電気エネルギーを取り出す場合は、励磁電源2の電流を上昇させて超電導コイル1に流れている電流と同じ値にする。その結果、熱式永久電流スイッチ(1)・・・(n)3-1・・・3-nを流れる電流は方向の異なる電流同士で打ち消されて、ほぼ零である。その後、熱式永久電流スイッチ(1)・・・(n)3-1・・・3-nを開極し、励磁電源2の電流を下げれば、超電導コイル1に蓄えられていた電気エネルギーを取り出すことができる。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来の熱式永久電流スイッチでは上記のように複数の熱式永久電流スイッチに均等に電流が流れるようにするためにそれぞれに固定抵抗が直列に接続されているため永久電流モード時には固定抵抗からのジュール発熱による損失が発生し、電気エネルギー取り出し効率が低下するという問題点があっ

た。

【0008】この発明は上記のような問題点を解消するためになされたもので、固定抵抗からのジュール発熱による損失が生じない信頼性の高い超電導装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明に係る超電導装置は、第1の超電導コイルと、この第1の超電導コイルに電流を供給する励磁電源と、複数の機械式永久電流スイッチ及び前記超電導コイルより小容量の複数の第2の超電導コイルをそれぞれ直列に接続し、前記第1の超電導コイルに並列接続した複数の直列体とから構成される。

【0010】請求項2の発明に係る超電導装置は、小容量の第2の超電導コイルに、機械式永久電流スイッチの開閉動作に前記小容量の第2の超電導コイルに残留する電気エネルギーを吸収するエネルギー減衰回路を設けたものである。

【0011】請求項3の発明に係る超電導装置のエネルギー減衰回路は、小容量の第2の超電導コイルに並列接続されるコンデンサと抵抗の直列体である。

【0012】請求項4の発明に係る超電導装置のエネルギー減衰回路は、小容量の第2の超電導コイルに並列接続されるダイオードと抵抗の直列体である。

【0013】請求項5の発明に係る超電導装置における小容量の第2の超電導コイルの通電容量は、超電導コイルの通電容量を複数の機械式永久電流スイッチの数で割った数値に近似した。

【0014】請求項6の発明に係る超電導装置の超電導コイルは、ソレノイド形状でその内側に複数の小容量の第2の超電導コイルをトロイダル配置に設置したものである。

【0015】請求項7の発明に係る超電導装置の超電導コイルは、ソレノイド形状でその内側に複数の小容量の第2の超電導コイルを同一平面上に点対称形状に配置したものである。

【0016】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 図1はこの発明の実施の形態1に係る超電導装置の構成図である。図6に示した従来の超電導装置との相違点は、複数の機械式永久電流スイッチにおいて、均等に電流が流れるようにするための固定抵抗に替わって、小容量の超電導コイル（第2の超電導コイル）をそれぞれの機械式永久電流スイッチに直列に接続したことである。

【0017】以下、この発明の実施の形態1を図について説明する。尚、図中、図6と同一符号は同一または相当部分を示す。図において、13は機械式永久電流スイッチ(1)13-1、機械式永久電流スイッチ(2)13-2・・・機械式永久電流スイッチ(n)13-nより構成される機械式永久電流スイッチ群である。14は

小容量の超電導コイル(1)14-1、小容量の超電導コイル(2)14-2・・・小容量の超電導コイル

(n)14-nより構成される小容量の超電導コイル群である。各機械式永久電流スイッチ(1)13-1、機械式永久電流スイッチ(2)13-2・・・機械式永久電流スイッチ(n)13-nはそれぞれ小容量の超電導コイル(1)14-1、小容量の超電導コイル(2)14-2・・・小容量の超電導コイル(n)14-nを直列接続して超電導コイル(第1の超電導コイル)1に並列接続されている。

【0018】次に、本実施の形態の動作について説明する。図1の並列接続の機械式永久電流スイッチにおいて、それぞれの機械式永久電流スイッチ(1)・・・(n)14-1、14-2、・・・14-nの両端にかかる電圧は次式で示される。

【0019】
$$L1(dI1/dt) + R1I1 = L2(dI2/dt) + R2I2 = \dots = Ln(dIn/dt) + RnIn$$

【0020】ここで、 $L1, L2, \dots, Ln$ はそれぞれn個の小容量の超電導コイル(1)・・・(n)14-1、14-2、・・・14-nの自己インダクタンス、 $I1, I2, \dots, In$ はそれぞれn個の機械式永久電流スイッチ(1)・・・(n)14-1、14-2、・・・14-nに分流される電流値で、 $R1, R2, \dots, Rn$ はそれぞれn個の機械式永久電流スイッチ(1)・・・(n)14-1、14-2、・・・14-nの接触抵抗、 $t$ は時間である。

【0021】上記接触抵抗 $R1, R2, \dots, Rn$ は発明者らの製作した機械式永久電流スイッチ(1)・・・(n)14-1、14-2、・・・14-nでは $10^{-10}\Omega$ 程度であり、機械式永久電流スイッチ14に電流を流し始めた初期においては、上式の $L1(dI1/dt), L2(dI2/dt), Ln(dIn/dt)$ に比べて $R1I1, R2I2, RnIn$ の項は小さく事実上無視できる。従って自己インダクタンスが均一ならば複数の機械式永久電流スイッチ14(1)・・・(n)14-1、14-2、・・・14-nに電流を流し始めた初期においてはほぼ均一な電流が分流されることになる。

【0022】電流を流し始めた初期を経て定常電流になると、それぞれn個の機械式永久電流スイッチ14(1)・・・(n)14-1、14-2、・・・14-nの接触抵抗 $R$ の大きさに反比例して電流 $I$ が再配分され始めるが、自己インダクタンス $L$ が大きいため時定数は十分大きい。例えば機械式永久電流スイッチ14(1)・・・(n)14-1、14-2、・・・14-nの接触抵抗 $R$ が $10^{-10}\Omega$ 程度、小容量の超電導コイル14の自己インダクタンス $L$ が1H程度の場合、電流 $I$ の再配分は1年間に数%しか進行しない。

【0023】実施の形態2. この発明の実施の形態2を

図2について説明する。尚、図中、図1と同一符号は同一または相当部分を示す。図2において、5-1はコンデンサ、6-1は固定抵抗で、直列に接続されて小容量の超電導コイル14-1の両端に接続される。また、5-nはn番目のコンデンサ、6-nはn番目の固定抵抗で直列に接続されて小容量の超電導コイル14-nの両端に接続される。

【0024】このように、コイル(L)、コンデンサ(C)、抵抗(R)を直列にループ接続された回路はスナバー回路と呼ばれ、コイル(L)等に蓄積されているエネルギーを速やかにR-C直列回路にて減衰させる。

【0025】もし、小容量の超電導コイル14-1にわずかな残留電流があった状態で機械式永久電流スイッチ13-1を開極すれば残留電流によりアークが発生して機械式永久電流スイッチ13-1の接点面を損傷する可能性があるが、図2に示すR-C直列回路からなるスナバー回路により、小容量の超電導コイル14-1に蓄積されているエネルギーは速やかに減衰されてアークの発生が少ない。

【0026】実施の形態3. この発明の実施の形態3を図3で説明する。尚、図中、図2と同一符号は同一または相当部分を示す。図3において、7-1はダイオード、8-1は固定抵抗で、直列に接続されて小容量の超電導コイル14-1の両端に接続される。また、7-nはn番目のダイオード、8-nはn番目の固定抵抗で、直列に接続されて小容量の超電導コイル14-1の両端に接続される。

【0027】このように、コイル(L)、ダイオード(D)、固定抵抗(R)を直列にループ状に接続された回路はダイオード保護回路と呼ばれ、コイル(L)等に蓄積されているエネルギーを速やかに固定抵抗(R)で減衰させる。

【0028】もし小容量の超電導コイル14-1にわずかな残留電流があった状態で機械式永久電流スイッチ13-1を開極すれば残留電流によりアークが発生して機械式永久電流スイッチ13-1の接点面を損傷する可能性があるが、図3のダイオード保護回路では小容量の超電導コイル14-1に蓄積されているエネルギーをダイオード7-1を通して固定抵抗8-1に導いて速やかに減衰させるのでアークの発生が少ない。

【0029】実施の形態4. この発明の実施の形態4を図4で説明する。図4は大電流超電導装置の1つである超電導マグネットエネルギー貯蔵(SMES)装置の例で図1の回路図のように小容量の超電導コイル14-1、14-2・・・14-nを設置している。

【0030】図4(a)では大型のソレノイド形状の超電導コイル1の内側は従来は未使用であった空間スペースに8個の小容量の超電導コイル14-1、14-2・・・14-8をトロイダル状に配置した。また図4(b)は同図(a)のA-B部における断面である。こ

のように小容量の超電導コイル14-1、14-2・・・14-8を大容量の超電導コイル1の内側にトロイダル形状に配置することで多くの小容量の超電導コイルを配置できると共に、隣接する小容量の超電導コイル同士の相互インダクタンス効果により隣接する小容量の超電導コイルのインダクタンスを大きくできる。

【0031】実施の形態5. この発明の実施の形態5を図5で説明する。図5は大電流超電導装置の1つである超電導マグネットエネルギー貯蔵(SMES)装置の例で図1の回路図のように超電導コイルを設置している。

【0032】図5(a)では大型のソレノイド形状の超電導コイル1の内側の従来は未使用であった空間スペースに6個の小容量の超電導コイル14-1、14-2・・・14-6を同一平面上に点対称形状に配置した。また図5(b)は同図(a)のA-B部における断面である。このように小容量の超電導コイル14-1、14-2・・・14-6を大容量の超電導コイル1の内側の未使用な空間に同一平面で点対称形状に配置することで、大容量の超電導コイル1と小容量の超電導コイル14-1、14-2・・・14-6同士との相互インダクタンス効果により隣接する小容量の超電導コイルのインダクタンスを大きくできる。

【0033】

【発明の効果】請求項1の発明によれば、超電導コイルと、この超電導コイルに電流を供給する励磁電源と、複数の機械式永久電流スイッチ及び前記超電導コイルより小容量の複数の超電導コイルをそれぞれ直列に接続し、前記超電導コイルに並列接続した複数の直列体とから構成したので、従来装置のように固定抵抗が無いのでジュール発熱が生じないで電流が均等に流れるため装置の信頼性が向上するという効果がある。

【0034】請求項2の発明によれば、小容量の第2の超電導コイルに、機械式永久電流スイッチの開極動作に前記小容量の第2の超電導コイルに残留する電気エネルギーを吸収するエネルギー減衰回路を設けたので、機械式永久電流スイッチの開極時には小容量の第2の超電導コイルのわずかな残留電流を吸収し、アークの発生を低減できるという効果がある。

【0035】請求項3の発明によれば、エネルギー減衰回路は、小容量の第2の超電導コイルに並列接続されるコンデンサと抵抗の直列体で構成したので、機械式永久電流スイッチの開極時には小容量の第2の超電導コイルのわずかな残留電流を吸収し、アークの発生を低減できるという効果がある。

【0036】請求項4の発明によれば、エネルギー減衰回路は、小容量の第2の超電導コイルに並列接続されるダイオードと抵抗の直列体で構成したので、機械式永久電流スイッチの開極時には小容量の第2の超電導コイルのわずかな残留電流を吸収し、アークの発生を低減できるという効果がある。

【0037】請求項5の発明によれば、超電導装置の小容量の第2の超電導コイルの通電容量は、第1の超電導コイルの通電容量を複数の機械式永久電流スイッチの数で割った数値に近似したので、小容量の第2の超電導コイルの通電電流値と第1の超電導コイルの通電電流値のバランスがよくなるという効果がある。

【0038】請求項6の発明によれば、超電導装置の第1の超電導コイルは、ソレノイド形状でその内側に複数の小容量の第2の超電導コイルをトロイダル配置に設置したので、多くの小容量の第2の超電導コイルが配置でき空間が有効に利用できるとともに、小容量の第2の超電導コイルのインダクタンスが大きくなるので複数の小容量の第2の超電導コイルを流れる電流値がより均一になるという効果がある。

【0039】請求項7の発明によれば、超電導装置の第1の超電導コイルは、ソレノイド形状でその内側に複数の小容量の第2の超電導コイルを同一平面上に点対称形状に配置したので、小容量の第2の超電導コイルと第1の超電導コイルとの相互インダクタンスで小容量の第2の超電導コイルのインダクタンスが大きくなり、複数の小容量の第2の超電導コイルを流れる電流値がより均一

になるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1に係る超電導装置の回路構成を示す図である。

【図2】 この発明の実施の形態2に係る超電導装置の回路構成を示す図である。

【図3】 この発明の実施の形態3に係る超電導装置の回路構成を示す図である。

【図4】 この発明の実施の形態4に係る超電導装置の配置構成を示す図である。

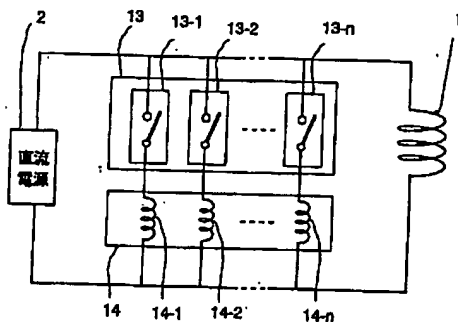
【図5】 この発明の実施の形態5に係る超電導装置の配置構成を示す図である。

【図6】 従来の超電導装置の回路構成を示す図である。

【符号の説明】

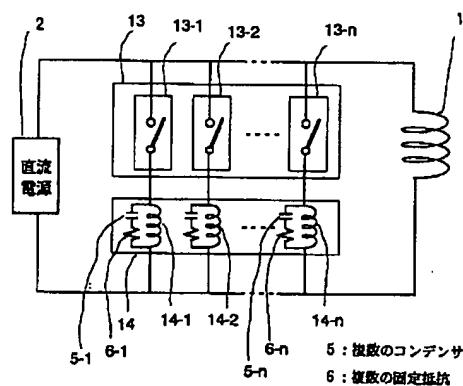
1 超電導コイル、2 励磁電源、3 複数の熱式永久電流スイッチ、4 複数の固定抵抗、5 複数のコンデンサ、6 複数の固定抵抗、7 複数のダイオード、8 複数の固定抵抗、13 複数の機械式永久電流スイッチ、14 複数の小容量の第2の超電導コイル。

【図1】



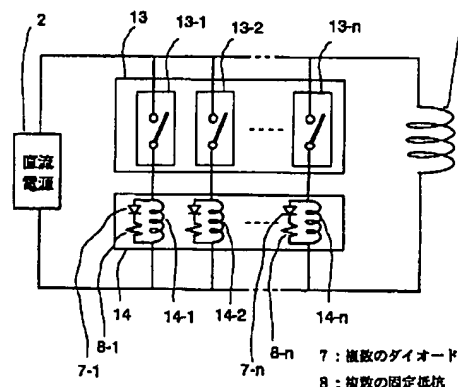
1 : 超電導コイル、2 : 励磁電源  
13 : 複数の熱式永久電流スイッチ  
14 : 複数の小容量の超電導コイル

【図2】



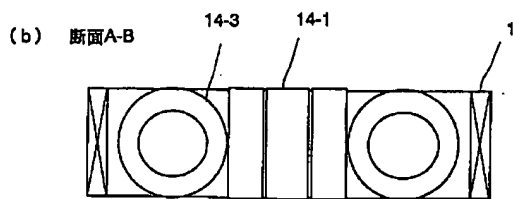
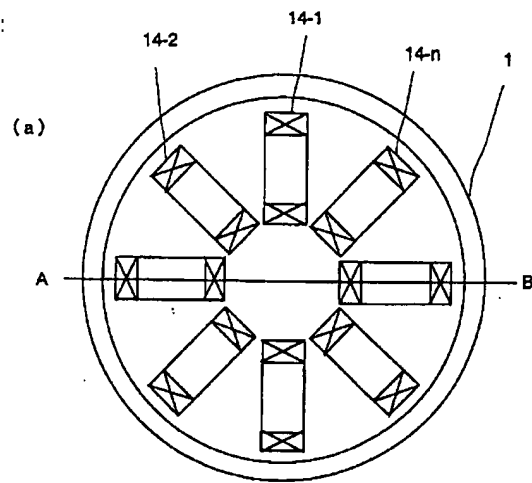
5 : 複数のコンデンサ  
6 : 複数の固定抵抗

【図3】

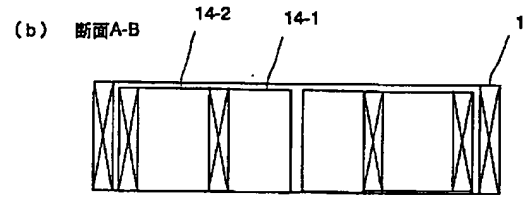
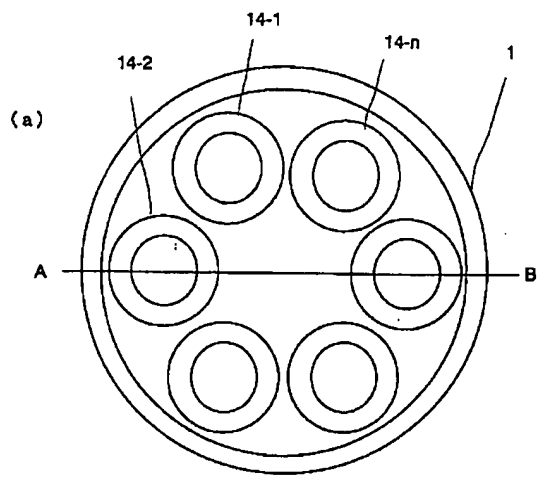


7 : 複数のダイオード  
8 : 複数の固定抵抗

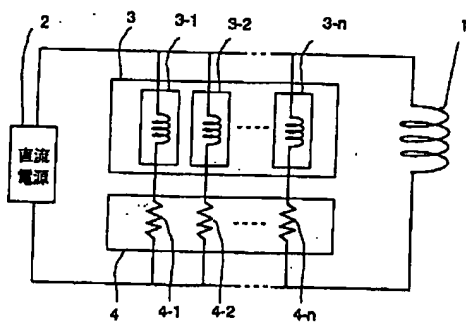
【図4】



【図5】



【図6】



DERWENT- 2000-606800

ACC-NO:

DERWENT- 200058

WEEK:

COPYRIGHT 2006 DERWENT INFORMATION LTD

**TITLE:** Superconductor apparatus has two superconducting coils in which secondary coil is connected in series with mechanical permanent current switches connected in parallel to primary coil

**PATENT-ASSIGNEE:** MITSUBISHI ELECTRIC CORP[MITQ]

**PRIORITY-DATA:** 1999JP-0044881 (February 23, 1999)

**PATENT-FAMILY:**

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
JP 2000243618	A September 8, 2000	N/A	006	H01F 006/00

**APPLICATION-DATA:**

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO	APPL-DATE
JP2000243618A	N/A	1999JP-0044881	February 23, 1999

**INT-CL (IPC):** H01F006/00

**ABSTRACTED-PUB-NO:** JP2000243618A

**BASIC-ABSTRACT:**

NOVELTY - The excitation power supply (2) supplies current to superconducting coil (1). Another superconducting coil (14) having multiple coils with low capacitance, is connected in series with multiple mechanical permanent current switches (13) which are connected in parallel to superconducting coil (1).

USE - Superconductor apparatus with mechanical permanent current switch to drive superconducting coil in permanent current mode.

ADVANTAGE - Superconductor apparatus with high reliability is obtained, since current through mechanical permanent current switch is shared equally.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows the components of superconductor apparatus.

Superconducting coils 1,14

Power supply 2

Switches 13

CHOSEN- Dwg.1/6

DRAWING:

TITLE- SUPERCONDUCTING APPARATUS TWO SUPERCONDUCTING COIL

TERMS: SECONDARY COIL CONNECT SERIES MECHANICAL PERMANENT CURRENT  
SWITCH CONNECT PARALLEL PRIMARY COIL

DERWENT-CLASS: X12

EPI-CODES: X12-C01D4; X12-C05;

SECONDARY-ACC-NO:

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N2000-449378



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**